

ANEXO C.

MIMO-GPCIT. HERRAMIENTA INTERACTIVA DE CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO .

C.1-Objetivo del anexo C.

Este anexo presenta una herramienta interactiva que permite estudiar el control de sistemas multivariables haciendo uso de la técnica GPC (Generalized Predictive Control). Con ella es posible especificar interactivamente el modelo de la planta a controlar en forma de matriz de transferencia, modificar los distintos parámetros de control (factores de ponderación, horizontes de control, horizontes de predicción...etc.) e incorporar restricciones sobre las salidas y entradas del sistema (tanto físicas como de comportamiento). De esta forma el usuario puede observar la interrelación entre las distintas variables y visualizar de manera inmediata cómo, al realizar un cambio sobre algún determinado parámetro, el comportamiento del sistema se ve modificado.

C.2.- Descripción de la herramienta.

La herramienta tiene por objetivo facilitar la comprensión de GPC para sistemas multivariables de forma interactiva. Destaca fundamentalmente que, hasta el momento, no exista una herramienta de control predictivo que explote la característica fundamental de MIMO-GPCIT que es precisamente la interactividad. Existen otras herramientas de control predictivo en el mercado, entre las que destaca el toolbox de MPC (Morari and Ricker, 1998), que es más potente que la herramienta presentada en

ANEXO C MIMO-GPCIT. HERRAMIENTA INTERACTIVA DE CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO.

este trabajo, al ser su orientación y objetivo distintos. La Tabla 1 muestra una comparativa de las dos herramientas.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS HERRAMIENTAS	MIMO-GPCIT	<i>toolbox</i> MPC
Código fuente disponible para el usuario	NO	SI
Fácil manejo (no necesita programación para la realización de ejemplos)	SI	NO
Representación de sistemas en función de transferencia	SI	SI
Representación de sistemas en espacio de estados	NO	SI
Sistemas multivariables	SI	SI
Permite análisis de estabilidad	SI	SI
Identificación de sistemas	NO	SI
Tratamiento de restricciones físicas	SI	SI
Tratamiento de restricciones de comportamiento	SI	NO
Uso del polinomio T	NO	SI
Independencia de ejecución	SI	NO
Disponibilidad gratuita	SI	NO
Tratamiento de sistemas no lineales	NO	SI
Rechazo de perturbaciones no medibles	SI	SI
Rechazo de perturbaciones medibles	NO	SI
Interactividad (Síntesis+Análisis)	SI	NO
Ejemplos apoyados en libros típicos de control predictivo	SI	NO

Tabla 1 Breve comparativa entre MIMO-GPCIT y *toolbox* MPC.

MIMO-GPCIT es gratuito (se puede descargar desde <http://aer.ual.es/mimo-gpcit/>), se puede ejecutar en cualquier entorno Windows (al ser un programa ejecutable) y no requiere programación por parte del usuario. Para realizar un ejemplo en MIMO-GPCIT basta con añadir la descripción del sistema mediante un cuadro de diálogo e incorporar directamente los polos y ceros del mismo de forma gráfica, lo cual es una gran ventaja para explotar su objetivo principal, que es entender los conceptos fundamentales de la técnica y permitir al usuario analizar de forma interactiva el efecto que tiene la variación de cualquier parámetro sobre el comportamiento global del sistema, sin tener que planificar simulaciones sucesivas (las etapas de síntesis y análisis se realizan simultáneamente). Además, los ejemplos aportados por el manual de MIMO-GPCIT han sido extraídos de textos básicos de control predictivo, permitiendo de esta forma que la herramienta sirva de complemento a la hora de explicar los conceptos de GPC.

C.3. Manual de usuario.

La figura 1 representa la pantalla principal del programa. En ella pueden observarse 5 secciones principales: Parámetros (parameters), Entradas y salidas (All outputs- All inputs), Polos y ceros de la matriz de transferencia (Transfer Matriz poles/zeros), zona de especificación de planta y diseño (Specification and design zone) y Menú (Settings).

ANEXO C MIMO-GPCIT. HERRAMIENTA INTERACTIVA DE CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO.

A continuación realizaremos una descripción detallada de cada una de estas secciones del programa.

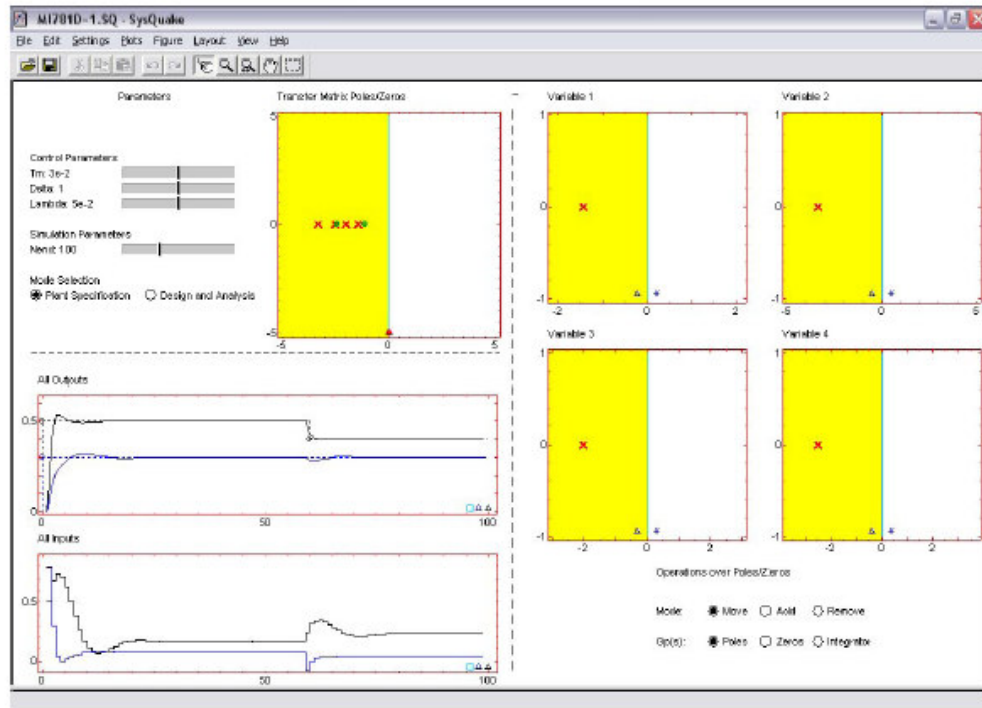


Fig. C.1 Pantalla Principal MIMO-GPCIT.

C.3.1.- Sección parámetros.

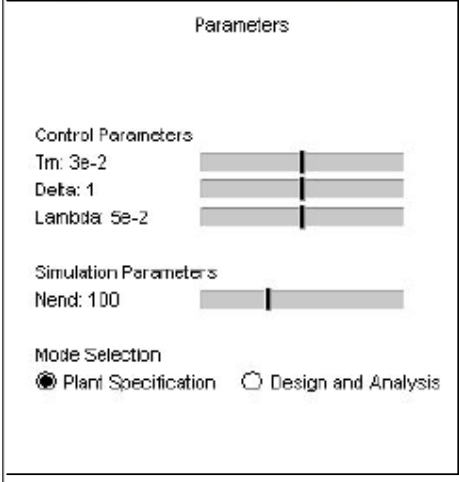
Esta sección es la correspondiente a los grupos de *Control Parameters*, *Simulation Parameters* y *Mode selection* que se observan en la parte superior izquierda de la pantalla principal de la herramienta mostrada en la figura B.1.

El primero de ellos permite modificar el periodo de muestreo (T_m) y los parámetros λ y δ (tomados como constantes en esta aplicación).

En el segundo grupo se puede modificar el tiempo final de simulación (N_{end}).

En el tercero de ellos es posible seleccionar el modo de trabajo deseado, modo de especificación de la planta o modo de diseño y análisis. Según la opción seleccionada en este último grupo el aspecto de la parte derecha de la pantalla cambiará con el fin de aportar las opciones oportunas al usuario.

ANEXO C MIMO-GPCIT. HERRAMIENTA INTERACTIVA DE CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO.



Parameters

Control Parameters

Tm: $3e-2$

Delta: 1

Lambda: $5e-2$

Simulation Parameters

Nend: 100

Mode Selection

☒ Plant Specification ☐ Design and Analysis

Fig. C.2 Sección parámetros

C.3.2.- Sección Entradas y Salidas.

Esta zona de la herramienta se encuentra dividida en dos partes. La primera de ellas (*All-outputs*) muestra una grafica que presenta la evolución de las salidas del sistema en bucle cerrado junto con las consignas respectivas, donde cada salida y su consigna correspondiente son representadas con el mismo color. La segunda muestra la evolución de las entradas del sistema en bucle cerrado. Esta zona de la herramienta tiene como objetivo hacer que el usuario tenga visible de forma permanente la evolución de las entradas y salidas del sistema pudiendo observar posibles cambios debido a la modificación de un determinado parámetro.

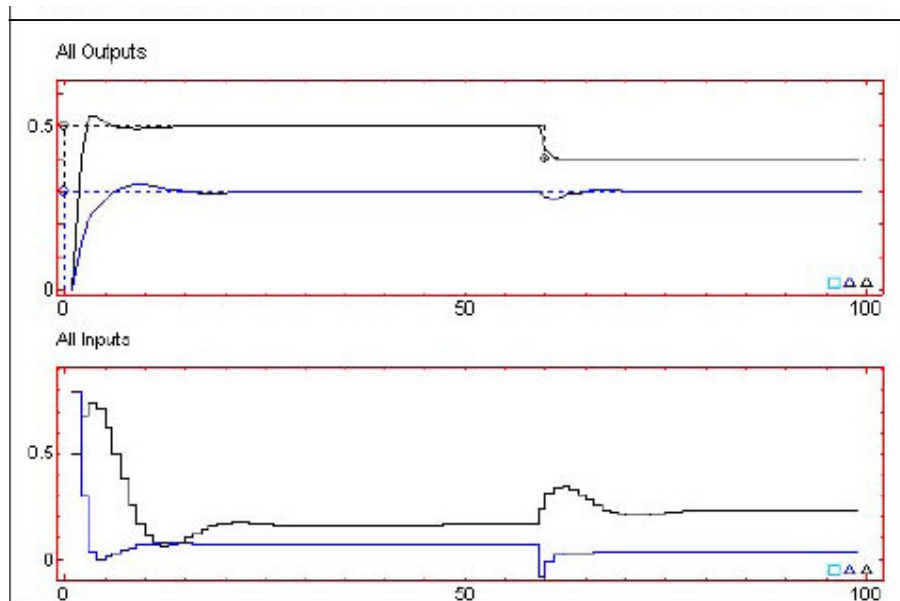


Fig. C.3 Sección entradas y salidas

C.3.3.-Sección de polos y ceros de la matriz de transferencia.

En esta zona se representan los polos y los ceros de la matriz de transferencia que representa al sistema multivariable, permitiendo observar comportamientos del sistema que no son visibles a priori, tales como comportamientos de fase no mínima. A priori no la usaremos en este documento.

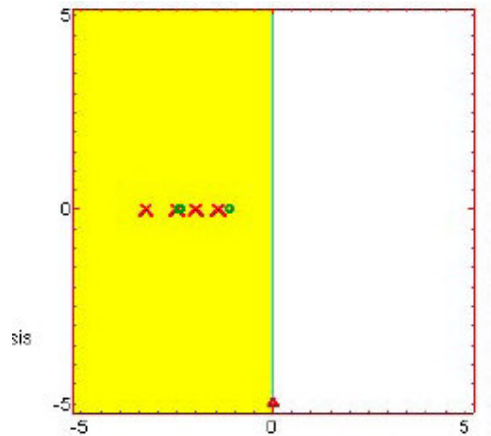


Fig. C.4 Sección de polos y ceros.

C.3.4.- Sección de especificación de planta y diseño.

Se puede considerar como la zona de trabajo de la herramienta. En ella es posible llevar a cabo la especificación de la planta en forma de matriz de transferencia, así como proceder al diseño y análisis del sistema de control. Es la zona correspondiente a la parte derecha de la herramienta y su aspecto cambiará para llevar a cabo un procedimiento u otro en función del valor que posea el parámetro del grupo *Mode selection* (Sección C.3.1.).

Existen entonces dos pantallas de interfaz entre el programa y el usuario en función de la opción elegida. Ahora pasaremos a describir cómo se manipulan cada una de estas pantallas.

Especificación de la planta.

Para la fase de *especificación* de la planta (Fig. C.5), la representación del sistema multivariable se ha realizado utilizando la matriz de transferencia. Por tanto, dicha matriz se representa gráficamente, de manera que cada casilla contiene la localización en el plano s de los polos ($\times$) y ceros ($\circ$) de la función de transferencia asociada a una determinada salida del proceso con respecto a una determinada entrada

ANEXO C MIMO-GPCIT. HERRAMIENTA INTERACTIVA DE CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO.

(recordemos que en un sistema multivariable las salidas pueden depender de varias entradas a la vez, así como una entrada puede modificar varias salidas a la vez).

En la parte inferior de la matriz se muestran las distintas operaciones posibles a realizar sobre cada casilla, siendo posible: modificar la localización de los polos y ceros de cada función de transferencia y añadir o eliminar polos, ceros e integradores.

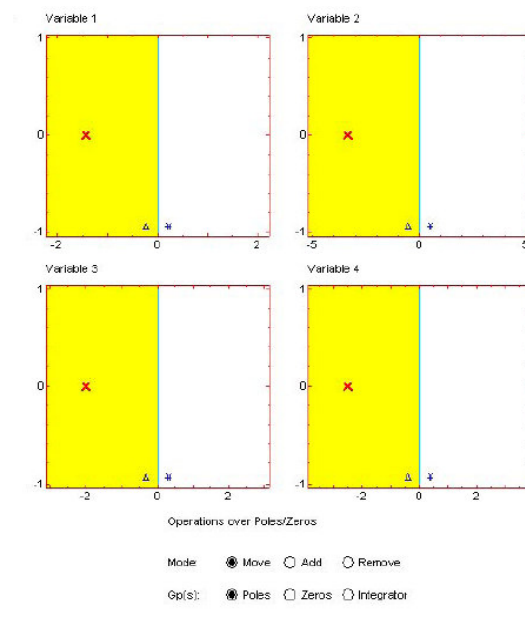


Fig. C.5 Especificación de la planta

Para modificar la localización de los polos y ceros basta con seleccionar la opción en cuestión, situarse con el ratón sobre el polo o cero a modificar y manteniendo el botón izquierdo del ratón pulsado desplazarlo hacia la localización deseada. A la hora de añadir o eliminar un polo, un cero o un integrador, se eligen las opciones correspondientes y se hace un click con el botón izquierdo del ratón sobre la localización donde se desea realizar la inserción, o en su caso sobre el polo, cero o integrador a eliminar.

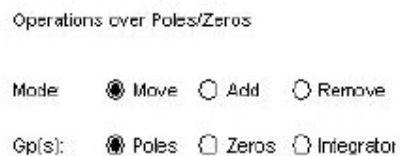


Fig. C.6 Detalle de las opciones sobre polos y/o ceros.

ANEXO C MIMO-GPCIT. HERRAMIENTA INTERACTIVA DE CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO.

Como se puede observar en la figura B.6 cada elemento de la matriz (cada una de las funciones de transferencia individuales) posee en la parte central del eje de abscisas dos pequeños botones. El situado más a la izquierda y con forma de triángulo permite observar la respuesta frente a una entrada en escalón, y el situado más a la derecha con forma de asterisco realiza un zoom de esa casilla de la matriz. Una vez elegida una de las dos opciones, para volver al estado inicial basta con volver a pulsar en la opción anteriormente seleccionada.

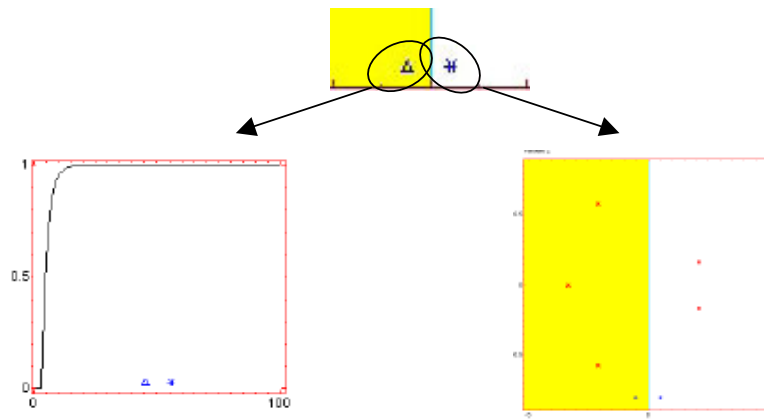


Fig. C.7 Opciones de representación

Diseño y análisis del sistema de control.

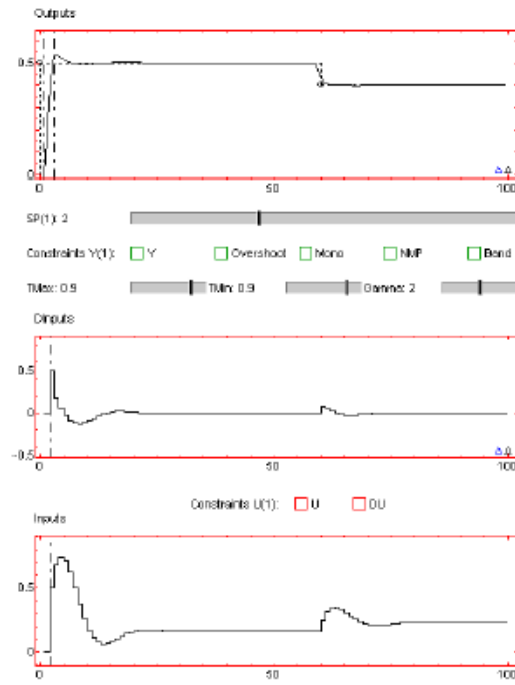


Fig. C.8 Diseño y análisis del sistema de control

ANEXO C MIMO-GPCIT. HERRAMIENTA INTERACTIVA DE CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO.

Una vez especificada la planta a controlar es necesario establecer los *parámetros del controlador* incorporando las restricciones correspondientes sobre cada salida o cada entrada del sistema.

Como se observa en la figura C.8, correspondiente al diseño del sistema de control, en la zona derecha de la herramienta se muestran tres gráficas. La que se encuentra en la zona superior representa las salidas del sistema pero, a diferencia de la gráfica *All outputs*, sólo muestra la salida del sistema seleccionado. La selección de cada variable se realiza haciendo uso de unos pequeños triángulos de colores que se muestran en la parte inferior derecha de dicha gráfica, comenzando de derecha a izquierda para las variables desde 1 hasta n .

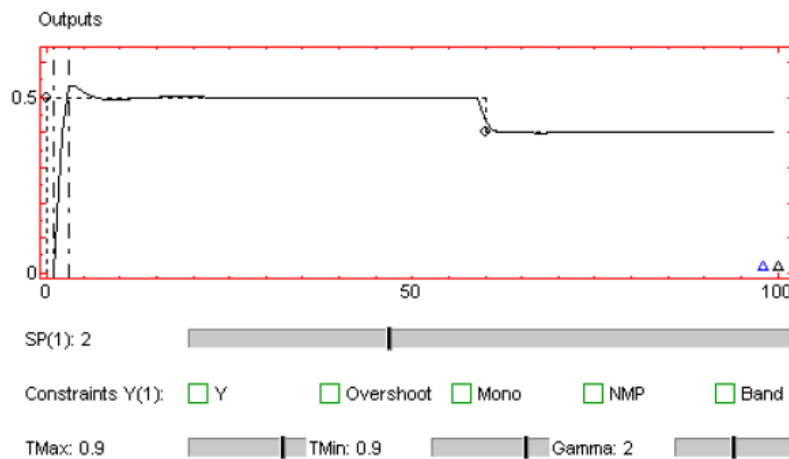


Fig. C.9 Detalle de gráfica de salidas para diseño

Sobre tal gráfica, tal y como se observa en la figura C.9, es posible modificar los horizontes de predicción, la amplitud de la referencia, el instante de tiempo donde ésta se alcanza y los valores de las restricciones de salida y tipo banda cuando se encuentran activas.

Justo en la parte inferior de dicha gráfica se muestran un conjunto de parámetros que permiten modificar el número de saltos de consigna para la variable elegida, así como activar y modificar los valores de las distintas restricciones a aplicar a dicha salida. Las dos gráficas restantes muestran la entrada seleccionada (*Inputs*) y el incremento de la misma (*Dinputs*). Para seleccionar una entrada u otra se utiliza el mismo procedimiento que para las salidas, donde ahora los triángulos de colores se muestran en la gráfica *DInputs*. Entre ambas gráficas se muestran dos *checkboxes* que permiten activar o desactivar las restricciones de amplitud para la entrada en cuestión o

ANEXO C MIMO-GPCIT. HERRAMIENTA INTERACTIVA DE CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO.

para su incremento. Desde las gráficas es posible modificar el horizonte de control así como el valor de las fronteras impuestas por las restricciones.

C.3.5 Sección de menú.

Es una opción que se encuentra disponible en el menú *Settings* de la herramienta (que muestra una serie de opciones para la misma y se encuentra en la barra de herramientas de la misma). La primera de ellas permite especificar el tiempo de muestreo y las restantes son una galería de ejemplos que permitirán al lector plantearse problemas típicos de control multivariable. Algunos de los ejemplos se ilustran en el siguiente apartado para mostrar las diferentes opciones de la herramienta, teniendo en cuenta que la principal característica de la herramienta (la interactividad) es difícil reflejarla en un texto escrito.



Fig. C.10 Detalle de la barra de herramientas.

Otro botón interesante es “Plots” que permite tener en pantalla sólo las gráficas que deseemos. Para el resto de opciones, las habituales, se deja al futuro usuario el descubrimiento de las mismas.